

# Analisa Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Mekanistik Empiris Dibandingkan Dengan Metode Bina Marga 2017, Ruas Jalan Soekarno Provinsi Sulawesi Utara

Ir. Theo Kurniawan Sendow, ST., MT., IPU., ASEAN.Eng<sup>1</sup>,  
Dr. Ir. Lucia I. R. Lefrandt, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Program Profesi Insinyur (PSPPI) Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara.

<sup>2</sup>Program Studi Program Profesi Insinyur (PSPPI) Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara

Email: [theosendow@unsrat.ac.id](mailto:theosendow@unsrat.ac.id) (korespondensi)

Perkerasan lentur adalah salah satu teknologi perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya, yang terdiri dari beberapa lapisan yang dihamparkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan, dimana lapisan-lapisan ini berfungsi untuk menerima beban kendaraan dan menyebarkannya ke lapisan yang ada di bawahnya. Untuk menjamin agar perkerasan lentur ini mampu memberikan pelayanan yang aman dan nyaman, maka perlu dilakukan perencanaan konstruksi perkerasan lentur. Studi Literatur dilakukan untuk membandingkan nilai tebal perkerasan lentur dan umur layanan jalan dari desain perkerasan lentur dengan dua metode yang berbeda, yaitu metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 dan Metode Mekanistik Empiris yang dikembangkan oleh Prof. Ir. Aloysius Tjan, Ph.D. Kedua metode memiliki perbedaan parameter seperti pada Metode Mekanistik Empiris yaitu Ec, Et, Nd, dan Nf, namun juga memiliki parameter-parameter yang saling berkaitan seperti beban lalulintas, CBR dan tebal lapis perkerasan. Hasil perbandingan tebal perkerasan antara metode Bina Marga 2017 dan metode Mekanistik Empiris menunjukkan bahwa secara keseluruhan metode Bina Marga 2017 lebih kecil ukurannya. Kata kunci – Bina Marga 2017, Mekanistik Empiris, Perkerasan Lentur

## Pendahuluan

Tingginya aktivitas pengguna jalan dapat mengakibatkan kemacetan serta akan berpengaruh juga pada perkerasan jalan. Kerusakan perkerasan jalan dapat saja terjadi manakala beban lalulintas melebihi dari rencana. Studi perkerasan jalan perlu dilakukan dengan berbagai metode agar dapat memberikan solusi tentang masalah tebal perkerasan. Dari perbandingan beberapa metode tersebut akan diperoleh metode yang ideal untuk digunakan.

Tingginya pengguna jalan dapat mengakibatkan kemacetan serta akan berpengaruh juga pada perkerasan jalan. Kerusakan perkerasan jalan dapat saja terjadi manakala beban lalulintas melebihi dari rencana. Studi perkerasan jalan perlu dilakukan dengan berbagai metode agar dapat memberikan solusi tentang masalah tebal perkerasan. Dari perbandingan beberapa metode tersebut akan diperoleh metode yang ideal untuk digunakan. Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dibahas : 1). Bagaimana perbandingan tebal struktur perkerasan menurut tinjauan mekanistik-empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dibandingkan dengan metode Bina Marga 2017?; 2). Bagaimana perbandingan perkiraan umur masa layanan struktur perkerasan menurut tinjauan mekanistik-empiris yang dikembangkan oleh Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dibandingkan dengan metode Bina Marga 2017?

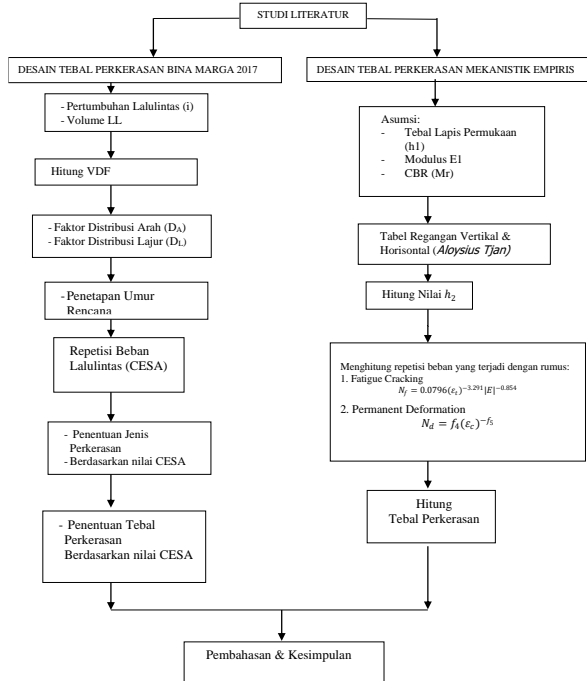
Dalam Penulisan ini, masalah yang dibatasi sebagai berikut: a). Penelitian dilakukan untuk perkerasan lentur jalan baru; b). Data LHR merupakan data sekunder yang diambil dari BPJN Provinsi Sulawesi Utara; c). Pengaruh yang diamati dibatasi hanya pada pengaruh aktivitas gubahan terhadap kapasitas jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Analisa tebal perkerasan lentur jalan dengan metode Bina Marga 2017. 2). Analisa tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris yang dikembangkan oleh Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D; 3). Komparasi perhitungan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode Bina Marga 2017 dan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris yang dikembangkan oleh Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D; 4). Komparasi perhitungan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode binamarga 2017 dan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D Dengan Menggunakan Variasi Beban (1 Juta – 30 Juta Esal); 5). Membandingkan umur masa layanan struktur perkerasan jalan dari kedua metode tersebut; 6). Membandingkan tebal total perkerasan lentur jalan dari metode mekanistik empiris dengan memvariasikan tebal lapisan beraspal dan lapisan berbutir.

Manfaat penelitian antara lain memperoleh hasil komparasi tebal perkerasan terbaik diantara metode MDP 2017 dan metode mekanistik empiris.

### Metode

Metode penelitian ini adalah metode menghitung tebal perkerasan lentur jalan raya yaitu mekanistik-empiris yang dikembangkan oleh Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dibandingkan dengan metode Bina Marga 2017.



Gambar 1. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian.

### Hasil Kerja/Analisa

#### A. Presentasi Data

Data yang akan digunakan adalah : Salah Satu Segmen ruas jalan baru Jalan Soekarno dengan tiper 4/2 D yang dibangun di Provinsi Sulawesi Utara direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2024. Data lalu lintas harian yang digunakan untuk perencanaan diperoleh dari survei pada tahun 2023 adalah sebagai berikut:

Umur Rencana : 20 Tahun  
 FaktorPenyebaranArah : 50%  
 Faktor Penyebaran 4 Lajur 2 arah : 100%

Tabel 1. Data Lalu Lintas Harian Rencana

Golongan	LHR 2020
1,2,3,4	1810
5B	92
6B	988
7A1	15
7A2	280
7C1	14
7C2A	8
7C2B	4
7C3	14
LHR	3208

Sumber: Peneliti. 2023.

#### B. Desain Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017

**Menghitung Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i).** Dalam perhitungan ini angka pertumbuhan lalu-lintas per tahun (i) digunakan 5%. karena perhitungan ESA untuk tahun 2023-2043.

Tabel 2. Data LHR Tahun 2020, 2021, 2022.

Golongan	LHR 2020	LHR 2021	LHR 2022
5B	92	107	117
6B	988	1144	1261
7A1	15	17	19
7A2	280	324	375
7C1	14	16	19
7C2A	8	9	11
7C2B	4	5	5
7C3	14	16	19
LHR	3208	1638	1806

Sumber: Hasil Analisis

#### Perhitungan CESA

$$CESA = \sum ESA(2018-2020) + \sum ESA(2021-2037)$$

$$ESA = LHR \times VDF \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Beban Sumbu Standar dan CESA

Gol. Kendaraan	LHR 2018	LHR 2021	VDF4 Aktual	VDF5 Aktual	ESA4 (2018-2020)	ESA4 (2021-2037)	ESA5 (2018-2020)	ESA5 (2021-2037)
5B	92	107	117	1	61273.64112	533727.2791	61273.64112	533727.2791
6B	988	1144	1261	7.4	2961115.309	20218268.22	4869589.619	27354127.59
7A1	15	17	19	18.4	100901.7025	487520.7566	183820.9234	668083.9998
7A2	280	324	357	20	1958092.445	7246604.827	3729699.894	9437438.845
7C1	14	16	18	29.5	148255.5708	589839.9278	275065.3672	808923.3295
7C2A	8	9	10	39	105497.2256	293716.2089	207797.5655	390016.6053
7C2B	4	5	5	42.8	55146.27701	146858.1045	114022.2539	192600.7927
7C3	14	16	18	51.7	228444.1185	539282.2197	482063.7113	674102.7746
				Σ	5618726.289	30075817.54	9923132.976	40079021.22
						35,694,543.83	50,002,154.19	
						CESA4 (2018-2037)	CESA5 (2018-2037)	

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Perhitungan Beban standar kumulatif diatas di dapatkan nilai CESA4 sebesar 35,694,543.83 dan nilai CESA5 sebesar 50,002,154.19

#### Desain Tebal Perkerasan Lentur

TABEL 4. Bagan Desain – 3B.

Solusi yang dipilih	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 <sup>6</sup> CESA5)	> 2	> 2-4	> 4-7	> 7-10	> 10-20	> 20-30	> 30-50	> 50-100	> 100-200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2				3		

Sumber: Bina marga 2017

Tabel 5. Bagan Desain - 3C Penyesuaian Tebal Lapis Fondasi AgregatA Untuk Tanah Dasar CBR > 7 %

Solusi yang dipilih	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 <sup>6</sup> CESA5)	< 2	≥ 2-4	> 4-7	> 7-10	> 10-20	> 20-30	> 30-50	> 50-100	> 100-200
TEBAL LFA A (mm) PENYESUAIAN TERHADAP BAGAN DESAIN - 3B									
Subgrade CBR > 5.5 - 7	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade CBR > 7-10	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade CBR > 10-15	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade CBR > 15	200	150	150	150	150	150	150	150	150

Sumber: Bina marga 2017

Berdasarkan kemampuan jalan memiliki beban dan CBR tanah dasar, pada tabel diatas. Dihasilkan tebal perkerasan sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil desain tebal perkerasan metode Bina Marga 2017

ACWC	40 mm	40 mm	Lapisan Beraspal.
ACBC	60 mm	60 mm	
ACBASE	210 mm	210 mm	
LPA A	200 mm	150 mm	Lapisan Pondasi.
CBR	7 -10%	>10 %	
Tebal Total	510 mm	460 mm	

Sumber: Bina marga 2017

**C. Desain Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Mekanistik Empiris.**

**Perhitungan Tebal Perkerasan**

E1 = 1600 MPa

E3 = 100 MPa (CBR= 9.67%)

Beban Lalulintas Rencana (Nr) = CESA5 sebesar 50,002,154.19

Hitung regangan tarik et dengan rumus Nf.

$$N_f = 0.0796(\epsilon_t)^{-3.291}|E|^{-0.854}$$

$$\epsilon_t^{-3.291} = \frac{0.0796}{N_f} \times |E|^{-0.854}$$

Substitusikan CESA5 = 50,002,154.19 sebagai nilai Nf pada persamaan diatas, maka didapat nilai et= 0.000312731

Hitung regangan tekan ec, rumus Nd

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9}(\epsilon_c)^{-4.477}$$

$$\epsilon_c^{-4.477} = \frac{N_d}{(1.365 \times 10^{-9})}$$

Substitusikan CESA 5 = 50,002,154.19 sebagai nilai Nd pada persamaan diatas, maka didapat nilai ec= 0.000199633Setelah kita mengetahui nilai ec dan et yang telah dihitung, cari tabel regangan tarik dan tekan pada perkerasan 3 lapis yang mempunyai nilai ec dan et mendekati nilai ec dan et yang telah dihitung untuk E1 = 1600 Mpa dan E3 = 100 Mpa serta memenuhi syarat Nf dan Nd> Nr, maka digunakan Tabel.9.

Jika tabel yang digunakan tidak terdapat nilai E1 = 1600 Mpa maka, dilakukan interpolasi antara untuk E1 = 1000 Mpa dan E1 = 2500 Mpa, maka dihasilkan nilai-nilai baru sebagai berikut:

Et = 0.0001825

Ec = 0.00026818

Hitung kembali Nf dan Nd dengan memasukkan nilai Et = 0.00026818 dan Ec = 0.0001825 dengan syarat Nf dan Nd lebih besar dari Nr.

**Tabel 7. Regangan Tarik dan Tekan Pada Perkerasan 3 Lapis Untuk h1 = 125 mm dan h2 = 625 mm**

Esg (MPa)	Eac (MPa)	Egh (MPa)	Sumbu Tunggal Roda Ganda			Sumbu Tunggal Roda Tunggal		
			Et	Ec	Rt	Et	Ec	Rt
30	150	201.2	3.871E-04	4.067E-04	8.929E+03	3.976E-04	2.229E-04	1.440E+05
	500	170.3	4.231E-04	3.945E-04	1.371E+04	3.959E-04	2.172E-04	1.594E+05
	1000	154.6	3.703E-04	3.852E-04	9.840E+03	3.269E-04	2.119E-04	9.481E+04
	2500	136.2	2.625E-04	3.639E-04	4.091E+03	2.134E-04	1.982E-04	3.142E+04
	5000	123.6	1.855E+00	3.333E-04	2.821E+16	1.401E-04	1.791E-04	1.238E+04
	7500	116.9	1.473E+04	2.085E-04	7.395E+03	1.070E-04	1.642E-04	7.524E+03
75	150	261.7	3.089E-04	2.375E-04	4.722E+04	3.129E-04	1.319E-04	6.856E+05
	500	221.5	3.505E-04	2.314E-04	8.041E+04	3.295E-04	1.279E-04	9.328E+05
	1000	201.1	3.158E-04	2.253E-04	6.431E+04	2.826E-04	1.240E-04	6.465E+05
	2500	177.1	2.301E-04	2.123E-04	2.960E+04	1.913E-04	1.155E-04	2.460E+05
	5000	160.8	1.637E-04	1.945E-04	1.429E+04	1.275E-04	1.043E-04	1.022E+05
	7500	152.0	1.308E-04	1.806E-04	9.315E+03	9.790E-05	9.576E-04	2.094E+04
100	150	284.2	2.886E-04	1.970E-04	8.720E+04	2.899E-04	1.108E-04	1.164E+06
	500	240.8	3.297E-04	1.920E-04	1.516E+05	3.101E-04	1.067E-04	1.720E+06
	1000	218.4	2.999E-04	1.869E-04	1.252E+05	2.694E-04	1.033E-04	1.251E+06
	2500	192.4	2.206E-04	1.759E-04	5.981E+04	1.846E-04	9.602E-05	5.002E+05
	5000	174.6	1.574E-04	1.612E-04	2.911E+04	1.237E-04	8.679E-05	2.106E+05
	7500	165.1	1.261E-04	1.497E-04	1.954E+04	9.521E-05	7.973E-05	1.301E+05
125	150	303.0	2.730E-04	1.693E-04	1.431E+05	2.731E-04	9.531E-05	1.876E+06
	500	256.5	3.142E-04	1.651E-04	2.544E+05	2.957E-04	9.221E-05	2.827E+06
	1000	232.8	2.880E-04	1.606E-04	2.161E+05	2.593E-04	8.910E-05	2.139E+06
	2500	208.1	2.135E-04	1.510E-04	1.064E+05	1.795E-04	8.275E-05	8.877E+05
	5000	186.2	1.526E-04	1.384E-04	5.202E+04	1.209E-04	7.481E-05	3.798E+05
	7500	176.0	1.225E-04	1.284E-04	3.532E+04	9.318E-05	6.878E-05	2.348E+05
150	150	319.3	2.699E-04	1.490E-04	2.184E+05	2.601E-04	8.531E-05	2.767E+06
	500	270.3	3.019E-04	1.453E-04	3.952E+05	2.642E-04	8.150E-05	3.391E+06
	1000	245.3	2.784E-04	1.412E-04	3.440E+05	2.512E-04	7.867E-05	3.365E+06
	2500	216.1	2.078E-04	1.327E-04	1.735E+05	1.754E-04	7.299E-05	1.443E+06
	5000	196.2	1.489E-04	1.216E-04	8.565E+04	1.186E-04	6.600E-05	6.248E+05
	7500	185.5	1.197E-04	1.131E-04	5.776E+04	9.155E-05	6.072E-05	3.871E+05
175	150	332.7	2.510E-04	1.334E-04	3.155E+05	2.495E-04	7.579E-05	3.888E+06
	500	282.5	2.918E-04	1.300E-04	5.814E+05	2.747E-04	7.322E-05	6.228E+06
	1000	256.4	2.706E-04	1.263E-04	5.162E+05	2.445E-04	7.061E-05	4.994E+06
	2500	225.9	2.031E-04	1.186E-04	2.661E+05	1.719E-04	6.546E-05	2.199E+06
	5000	205.0	1.458E-04	1.087E-04	1.320E+05	1.167E-04	5.920E-05	9.639E+05
	7500	193.9	1.174E-04	1.011E-04	8.954E+04	9.020E-05	5.540E-05	5.981E+05

Sumber: Dasar Perencanaan Perkerasan Lentur Mekanistik-Empiris, 1990.

Nf = 0.0796(εt)<sup>-3.291</sup>|E|<sup>-0.854</sup>

Nf = 0.0796(0.0001825)<sup>-3.291</sup>|1600|<sup>-0.854</sup>

Nf = 82,916,958.793

Nd = 1.365 × 10<sup>-9</sup>(εc)<sup>-4.477</sup>

Nd = 1.365 × 10<sup>-9</sup>(0.00026818)<sup>-4.477</sup>

Nd = 74,723,772.20

H total = h1 + h2

= 125 mm + 625 mm

= 750 mm > 510 mm (Hasil MDP 2017)

**D. Perbandingan Kumulatif Beban antara Kedua Metode.**

Pada MDP 2017 untuk CBR (7 %).

Lapis Beraspal = 245 s/d 345 mm

LPA.A = 300 mm

Pehitungan Mekanistik:

h1 = 245 - 345 mm (Lap.Beraspal)

h2 = 300 mm (Lap.Pondasi)

E1 = 1600 MPa

E3 = 75 MPa

Hitung nilai Et dan Ec untuk h2 = 300 dan h1 = 75 mm

**Tabel 8. Interpolasi Nilai Ec dan Et untuk E1 1600 Mpa pada h1 = 75 mm dan h2 = 225 mm**

E1	Et	Ec
1000	0.0002989	0.00072830
<b>1600</b>	<b>0.00029514</b>	<b>0.00071434</b>
2500	0.0002895	0.0006934

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 9. Interpolasi untuk h2 = 375 mm**

E1	Et	Ec
1000	0.0002957	0.0004615
<b>1600</b>	<b>0.0002878</b>	<b>0.0004573</b>
2500	0.0002759	0.000451

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 10. Interpolasi untuk h2 = 300 mm**

h2	Et	Ec
225	0.00029514	0.00071434
<b>300</b>	<b>0.00029146</b>	<b>0.00058582</b>
375	0.00028778	0.0004573

Sumber: Hasil Analisis

Lakukan perhitungan yang sama untuk:

Nilai h2 = 300 dan h1 = 100 mm

Nilai h2 = 300 dan h1 = 125 mm

Nilai h2 = 300 dan h1 = 150 mm

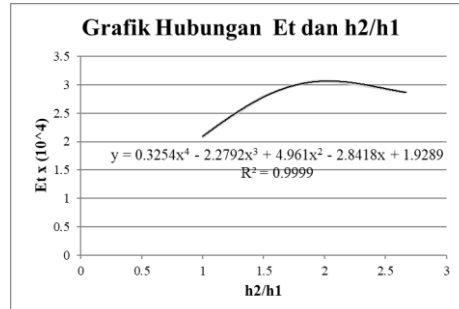
Nilai h2 = 300 dan h1 = 175 mm

Nilai h2 = 300 dan h1 = 200 mm

**Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Et dan Ec pada setiap h1 untuk E3 = 75 MPa**

h1	Et	Ec
75	0.00029146	0.00058582
100	0.0003029	0.00052546
125	0.000296058	0.000500224
150	0.00026374	0.00042504
175	0.000240146	0.00038616
200	0.00021648	0.00033836

Sumber: Hasil Analisis



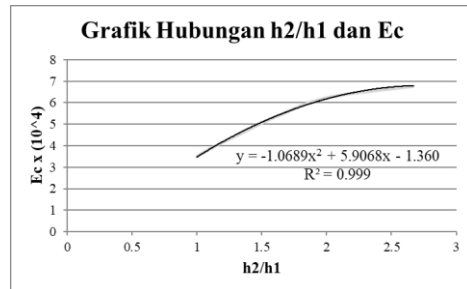
**Gambar 2. Grafik hubungan antara h2/h1 dan Et untuk E3=75 MPa.**

Rumus:  $E_t = 0,325(h_2/h_1)^4 - 2,279(h_2/h_1)^3 + 4,961(h_2/h_1)^2 - 2,841(h_2/h_1) + 1,928$

**Tabel 12. Hasil Perhitungan Et (Rumus) dan Nf unuk E3= 75 MPa**

h1	h2/h1	Et (Rums)	Et	Nf
75	2.6666	2.848197531	0.00028482	68,014,950.292
100	2	3.058	0.0003058	53,829,438.829
125	1.6	2.877696	0.00028777	65,747,280.441
150	1.3333	2.584641975	0.000258464	93,623,507.795
175	1.14285	2.313362766	0.000231336	134,855,433.798
200	1	2.094	0.0002094	187,180,394.137
245	0.81632	1.819340783	0.000181934	297,315,429.116
260	0.76923	1.754586254	0.000175459	334,977,464.025
280	0.71428	1.683897543	0.00016839	383,521,535.121
310	0.6451	1.60433847	0.000160434	449,744,100.350
345	0.5797	1.540967471	0.000154097	513,530,554.748

Sumber: Hasil Analisis



**Gambar 3. Grafik hubungan antara h2/h1 dan Ec untuk E3= 75 MPa**

Rumus:  $E_c = 0,211(h_2/h_1)^3 - 2,094(h_2/h_1)^2 + 7,395(h_2/h_1) - 3,732$

**Tabel 13. Hasil Perhitungan Ec(rumus) dan Nd untuk E3= 75 MPa**

h1	h2/h1	Ec (Pers)	Ec	Nd
75	2.6666	6.794666667	0.000679467	207,737.94
100	2	6.18	0.000618	317,597.63
125	1.6	5.35552	0.000535552	602,958.86
150	1.3333	4.616	0.0004616	1,172,774.90
175	1.1428	3.99477551	0.000399478	2,240,016.78
200	1	3.478	0.0003478	4,164,857.36
245	0.81632	2.749521033	0.000274952	11,928,308.30
260	0.76923	2.55112426	0.000255112	16,679,968.30
280	0.71428	2.313673469	0.000231367	25,831,659.01
310	0.6451	2.00578564	0.000200579	48,955,880.44
345	0.57971	1.704851922	0.000170485	101,361,133.59

Sumber: Hasil Analisis

Dipilih nilai terkecil adalah Nd.

**TABEL 14. Perbandingan Kumulatif Beban MDP-2017 dan Mekanistik Prof Tjan.**

CBR Tanah Dasar	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	11,928,308.30	< 20
FFF6	260	>20 - 30	16,679,968.30	< 30
FFF7	280	>30 - 50	25,831,659.01	< 50
FFF8	310	>50 - 100	48,955,880.44	< 100
FFF9	345	>100 - 200	101,361,133.59	< 200

Sumber: Hasil Analisis

Dilakukan perhitungan yang sama untuk E3= 100, 150, dan 175 MPa

**Tabel 15. Hasil Perhitungan E3= 100 MPa**

CBR Tanah Dasar	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	11,928,308.30	< 20
FFF6	260	>20 - 30	16,679,968.30	< 30
FFF7	280	>30 - 50	25,831,659.01	< 50
FFF8	310	>50 - 100	48,955,880.44	< 100
FFF9	345	>100 - 200	101,361,133.59	< 200

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 16. Hasil Perhitungan E3= 125 MPa**

CBR Tanah Dasar	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	13,417,821.01	< 20
FFF6	260	>20 - 30	17,968,887.52	< 30
FFF7	280	>30 - 50	26,084,681.60	< 50
FFF8	310	>50 - 100	44,231,689.45	< 100
FFF9	345	>100 - 200	78,758,952.67	< 200

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 17. Hasil Perhitungan E3= 150 MPa**

CBR Tanah Dasar	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	23,373,648.19	> 20
FFF6	260	>20 - 30	31,216,723.86	> 30
FFF7	280	>30 - 50	45,146,544.01	< 50
FFF8	310	>50 - 100	76,104,541.26	< 100
FFF9	345	>100 - 200	134,523,528.58	< 200

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 18. Hasil Perhitungan E3= 175 MPa**

CBR Tanah Dasar	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MD 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	37,901,729.02	> 20
FFF6	260	>20 - 30	50,515,386.32	> 30
FFF7	280	>30 - 50	72,849,153.20	> 50
FFF8	310	>50 - 100	122,255,066.07	> 100
FFF9	345	>100 - 200	214,905,853.95	> 200

Sumber: Hasil Analisis

**E. Komparasi Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur dengan Variasi Beban 1 Juta S/d 30 Juta ESAL**

Dalam perhitungan sebelumnya telah dihitung tebal perkerasan jalan untuk:

E1 = 1600 MPa

E3 = 75 MPa

h2 = 300 mm (Lapisan Pondasi)

Dan telah dihasilkan grafik hubungan antar h2/h1 dan Ec.

Dengan rumus:

$$E_c = 0,211(h_2/h_1)^3 - 2,094(h_2/h_1)^2 + 7,395(h_2/h_1) - 3,732$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya Nd menjadi nilai penentu tebal perkerasan sebab nilai Nd yang paling cepat bertemu dengan nilai Nr maka pada perhitungan ini hanya dihitung nilai Nd yang merupakan nilai penentu tebal perkerasan.

Beban LalulintasRencana (Nr) = CESA5 sebesar 1.000.000 Setelah menghitung nilai regangan tekan ec dengan memodifikasi rumus Nd didapat nilai  $ec = 0.000478328$

$$E_c \text{ (hitung)} = 0,000478328 \times 10^4 = 4.783280558$$

Masukkan Ec kedalam rumus maka dapat.

$$h_2/h_1 = 2,3182$$

Untuk h2 = 300 mm

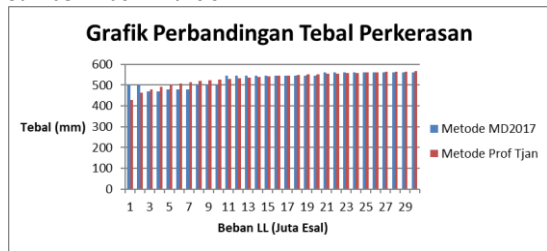
$$h_1 = 129.4107497 \approx 129.5 \text{ mm}$$

h total = 300 mm + 129,5 mm ≈ 429,5 mm  
 Dengan cara yang sama dilakukan untuk nilai ESAL 2 Juta s/d 30 Juta.

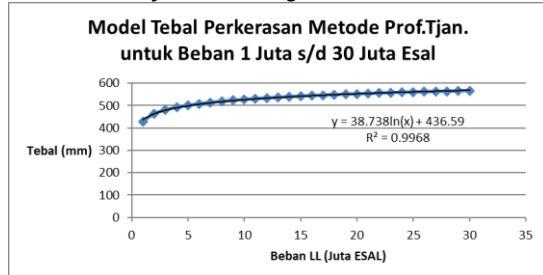
**Tabel 18. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan**

PERHITUNGAN METODE PROF TJAN										Metode MDP2017
No	Beban LL/Nd (Juta)	$E_c \sim 4.477$	$E_c$	$E_c \times 10^{-4}$	$h_2/h_1$	$E_c \text{ rms}$	$h_1$ (mm)	H total (mm)	H total (mm)	H total (mm)
1	1	7.33E+14	0.00047833	4.78328056	2.382	4.78333	129.411	429.411	500	500
2	2	1.47E+15	0.00040972	4.09789499	18.409	4.09716	162.964	462.964	500	500
3	3	2.20E+15	0.00037424	3.74243451	1.66377	3.74244	180.313	480.313	470	470
4	4	2.93E+15	0.00035095	3.50951749	1.562	3.50959	192.062	492.062	470	470
5	5	3.66E+15	0.00033389	3.33888312	1.493	3.33881	200.938	500.938	480	480
6	6	4.40E+15	0.00032056	3.20564177	1.44202	3.20563	208.042	508.042	480	480
7	7	5.13E+15	0.00030971	3.09714469	1.40212	3.09714	213.961	513.961	480	480
8	8	5.86E+15	0.00030061	3.00615299	1.36968	3.0061	219.029	519.029	505	505
9	9	6.59E+15	0.00029281	2.92807748	1.34258	2.92808	223.45	523.45	505	505
10	10	7.33E+15	0.000286	2.85997341	1.31943	2.85998	227.371	527.371	505	505
11	11	8.06E+15	0.00027997	2.79973138	1.29932	2.79973	230.89	530.89	545	545
12	12	8.79E+15	0.00027458	2.74584341	1.2816	2.7458	234.082	534.082	545	545
13	13	9.52E+15	0.00026972	2.69718768	1.26585	2.69718	236.995	536.995	545	545
14	14	1.03E+16	0.00026529	2.65290851	1.25169	2.65291	239.677	539.677	545	545
15	15	1.10E+16	0.00026123	2.61233923	1.23885	2.61233	242.161	542.161	545	545
16	16	1.17E+16	0.0002575	2.57495099	1.22714	2.57495	244.472	544.472	545	545
17	17	1.25E+16	0.00025403	2.5403177	1.2164	2.54036	246.629	546.629	545	545
18	18	1.32E+16	0.00025081	2.50809131	1.20647	2.50809	248.659	548.659	545	545
19	19	1.39E+16	0.00024778	2.4779841	1.19728	2.47798	250.569	550.569	545	545
20	20	1.47E+16	0.00024498	2.44975568	1.18872	2.44975	252.373	552.373	545	545
21	21	1.54E+16	0.00024232	2.42320329	1.18067	2.42303	254.093	554.093	560	560
22	22	1.61E+16	0.00023982	2.39815441	1.17323	2.39815	255.705	555.705	560	560
23	23	1.68E+16	0.00023745	2.37446116	1.16618	2.37446	257.251	557.251	560	560
24	24	1.76E+16	0.0002352	2.35199581	1.15953	2.35199	258.726	558.726	560	560
25	25	1.83E+16	0.00023307	2.33064742	1.15325	2.33065	260.136	560.136	560	560
26	26	1.90E+16	0.00023103	2.31031898	1.14729	2.31032	261.486	561.486	560	560
27	27	1.98E+16	0.00022909	2.29092525	1.14163	2.29092	262.781	562.781	560	560
28	28	2.05E+16	0.00022724	2.27239095	1.13626	2.27239	264.025	564.025	560	560
29	29	2.12E+16	0.00022547	2.25464927	1.13112	2.25463	265.224	565.224	560	560
30	30	2.20E+16	0.00022376	2.23764069	1.12623	2.23765	266.375	566.375	560	560
Jumlah								15989.9	15945	
Rerata								532.995	531.5	

Sumber: Hasil Analisis



**Gambar 4. Grafik Perbandingan Tebal Perkerasan Jalan**

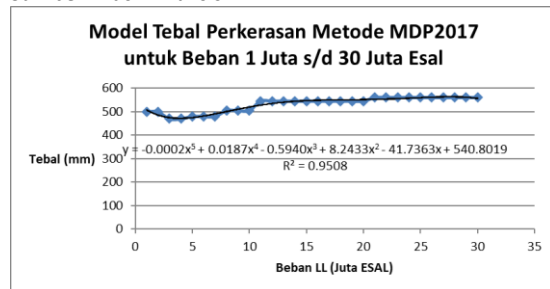


**Gambar 5. Grafik model tebal perkerasan Metode Mekanistik Empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D**

**Tabel 19. Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan Mekanistik Empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D Menggunakan Rumus Pemodelan Grafik**

BEBAN Lulu Lintas	Tebal perkerasan Rumus (mm)	Tebal Perkerasan Hitung (mm)
1,000,000	436.59	429.41075
2,000,000	463.44	462.963768
3,000,000	479.15	480.313385
4,000,000	490.29	492.06146
5,000,000	498.94	500.937709
6,000,000	506	508.041497
7,000,000	511.97	513.961257
8,000,000	517.14	519.029262
9,000,000	521.71	523.450372
10,000,000	525.79	527.37091
11,000,000	529.48	530.890004
12,000,000	532.85	534.082397
13,000,000	535.95	536.994905
14,000,000	538.82	539.676916
15,000,000	541.49	542.161045
16,000,000	543.99	544.471168
17,000,000	546.34	546.629398
18,000,000	548.56	548.659415
19,000,000	550.65	550.568791
20,000,000	552.64	552.373149
21,000,000	554.53	554.093015
22,000,000	556.33	555.705427
23,000,000	558.05	557.251116
24,000,000	559.7	558.726188
25,000,000	561.28	560.135531
26,000,000	562.8	561.485762
27,000,000	564.26	562.781242
28,000,000	565.67	564.025241
29,000,000	567.03	565.223849
30,000,000	568.35	566.37543

Sumber: Hasil Analisis



**Gambar 6. Grafik model tebal perkerasan Metode Bina Marga 2017**

**Tabel 20. Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan Mekanistik Menggunakan Rumus Pemodelan Grafik**

BEBAN Lalu Lintas	Tebal perkerasan Rumus (mm)	Tebal Perkerasan Hitung (mm)
1,000,000	506.73	500
2,000,000	485.84	500
3,000,000	475.21	470
4,000,000	472.3	470
5,000,000	474.97	480
6,000,000	481.4	480
7,000,000	490.1	480
8,000,000	499.88	505
9,000,000	509.81	505
10,000,000	519.19	505
11,000,000	527.55	545
12,000,000	534.6	545
13,000,000	540.22	545
14,000,000	544.42	545
15,000,000	547.33	545
16,000,000	549.15	545
17,000,000	550.15	545
18,000,000	550.64	545
19,000,000	550.91	545
20,000,000	551.25	545
21,000,000	551.91	560
22,000,000	553.06	560
23,000,000	554.76	560
24,000,000	556.96	560
25,000,000	559.47	560
26,000,000	561.91	560
27,000,000	563.69	560
28,000,000	564.01	560
29,000,000	561.82	560
30,000,000	555.76	560

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 21. Kesimpulan Hasil Perhitungan Tebal**

BEBAN LL (Juta ESAL)	TEBAL PERKERASAN METODE	
	PROF.TJAN	MDP 2017
	Htotal(mm)	Htotal(mm)
1 s/d 2	429,41 - 462,92	500
3 s/d 10	480,3 - 527,37	470 - 505
11 s/d 16	530,89 - 544,47	545
17 s/d 20	546,63 - 552,37	545
21 s/d 25	554,09 - 560,13	560
26 s/d 30	561,48 - 566,37	560

Sumber: Hasil Analisis

**F. Perhitungan Umur Layanan.**

Tinjau pada Hasil hitungan tebal h1= 310 mm untuk E=150 MPa bahwa

MDP 2017 sampai 100,000,000

Metode Prof.Tjan sampai 76,104,51,26

**Tabel 22. Repetisi beban yang digunakan akibat kelelahan**

Gol. Kendaraan	LHR 2015	VDF	LHR*VDF*365*DD*DL>R
5B	92	1	16790 R
6B	988	4.6	829426 R
7A1	15	7.4	20257.5 R
7A2	280	5.6	286160 R
7C1	14	9.6	24528 R
7C2A	8	8.1	11826 R
7C2B	4	8	5840 R
7C3	14	8	20440 R
Σ	1415		1,215,267.50 R

Sumber: Hasil Analisis

Dengan memodifikasi rumus pertumbuhan lalu-lintas hitung umur layanan

Subtitusikan nilai R dan laju pertumbuhan lalulintas per tahun atau  $i = 5\%$  maka akan didapat persamaan baru sebagai berikut:  $1.05^{UR} = 5.11432051$

**Tabel 23. Perhitungan Umur Layanan Metode Bina Marga dengan Cara Iterasi**

Tahun (x)	$1.05^x$	
20	2.653	5.114
25	3.386	5.114
<b>33.448</b>	<b>5.114</b>	<b>5.114</b>
35	5.516	5.114

Sumber: Hasil Analisis

Dengan cara yang sama lakukan perhitungan umur layanan untuk metode Mekanistik Empiris.

**Tabel 24**

**Perhitungan Umur Layanan Metode Mekanistik Empiris dengan Cara Iterasi**

Tahun (x)	$1.05^x$	
20	2.653	4.131
25	3.386	4.131
<b>29.079</b>	<b>4.132</b>	<b>4.131</b>
30	4.322	4.131

Sumber: Hasil Analisis

**Kesimpulan dan Saran**

**Kesimpulan**

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) CBR Tanah Dasar 7 % yaitu E3= 75 MPa
  - a) Untuk h1 sesuai kolom FFF5 sampai FFF7 Metode MDP-17 mempunyai kumulatif beban lebih besar dari Metode Mekanistik Empiris Proj.Tjan.
  - b) Pada Tebal h1 sesuai FFF8 dan, FFF9; Metode Mekanistik Empiris Prof. Tjan mempunyai kumulatif beban lebih besar dari metode MDP-2017.
- 2) CBR Tanah Dasar 10 % yaitu E3= 100 Mpa, Metode MDP-17 memiliki kumulatif beban lebih besar dari Metode Mekanistik Empiris Proj.Tjan.
- 3) CBR Tanah Dasar >10 % yaitu E3=125 MPa, Metode MDP-17 mempunyai kumulatif beban lebih besar dari Metode Mekanistik Empiris Proj.Tjan.
- 4) CBR Tanah Dasar >10 % yaitu E3=150 MPa
  - a) Untuk h1 sesuai kolom FFF5 dan FFF6 Metode Mekanistik Empiris Prof.Tjan mempunyai kumulatif beban lalulintas lebih besar dari Metode MDP-17.

- b) Untuk h1 sesuai FFF7 sampai FFF9, Metode MDP-17 mempunyai kemampuan menerima beban lalu lintas lebih besar dari Metode Mekanistik Empiris Prof.Tjan
  - 5) CBR Tanah Dasar >10 % yaitu E3=175 MPa, Metode Mekanistik Empiris Prof.Tjan mempunyai kumulatif beban lebih besar dari Metode MDP-17.
  - 6) Berdasarkan perhitungan dengan variasi beban 1 juta s/d 30 juta ESAL untuk Tanah Dasar E3= 75 MPa:
    - a) Beban 1 s/d 2 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih kecil dari metode MDP 2017
    - b) Beban 3 s/d 10 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih besar dari metode MDP 2017
    - c) Beban 11 s/d 16 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih kecil dari metode MDP 2017
    - d) Beban 17 s/d 20 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih besar dari metode MDP 2017
    - e) Beban 21 s/d 25 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih kecil dari metode MDP 2017
  - 7) Metode MDP 2017 memberikan Umur layanan jalan lebih besar dari Metode Mekanistik.
- 5 AASHTO 1993." Jurnal Sipil Statik Vol.7 2019 Fakultas Teknik Unsrat Manado
  - 5 Ratu E R, dan Arung V, 2017 Analisa Tegangan Regangan dan Deformasi Pada Perkerasan Lentur Porus Dan Konvensional; Dengan Skala Semi Lapangan, Skripsi Terpublikasi, Fakultas Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang
  - 6 Safitra A, Sendow TK, dan Pandey SV 2019 "Analisa Pengaruh Beban Berlebih Terhadap Umur Rencana Jalan", Jurnal Sipil Statik Vol.7. 2019 Fakultas Teknik Unsrat Manado.
  - 7 Tjan A, dan Kangan S, (1990), Dasar Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Mekanistik Empiris, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas KatolikParahiangan 1990
  - 8 Widiastuti A. 2018. Analisa Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi – Kanigoro- Planjan, Tugas Akhir FTSP UII

## Saran

1. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan membandingkan desain tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris dan variasi metode lain (AASHTO, dan metode lainnya)
2. Desain tebal perkerasan lentur jalan dengan menggunakan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dapat dibuat menjadi program berbasis C++

## Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Rektor Universitas Sam Ratulangi yang telah memfasilitasi penulis dalam melaksanakan penelitian ini.

## Referensi (*Harvard Style*)

- 1 American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, 1993, Guide for The Design of Pavement Structures, The American Association of State Highway Transportation Officials, Washington DC.
- 2 Asphalt Institute, 1970, Thickness Design – Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets, 8th Edition, Lexington
- 3 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2017. Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017; Direktorat Jenderal Bina Marga Jakarta
- 4 Mantiri C, Sendow TK, dan Manopo M, 2019, "Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Dengan Metode Bina Marga 2017 dibandingkan Metode